

***А. Н. Гостевская¹, В. Е. Кормышев¹, Е. В. Капралов¹, В. Е. Громов^{1*},
Ю. Ф. Иванов^{2,3}***

¹Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

²Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

³Научно-исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

**gromov@physics.sibsiu.ru*

Научный руководитель – проф., д-р физ.- мат. наук *В. Е. Громов*

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВА НАПЛАВКИ НА НИЗКОУГЛЕРОДИСТУЮ СТАЛЬ

Методами физического материаловедения исследовано структурно-фазовое состояние и распределение микротвердости по сечению покрытий. Показано, что микротвердость двойного наплавленного слоя толщиной 10 мм превышает микротвердость металла основы в 3 раза. Повышенные механические свойства наплавленного слоя обусловлены формированием субмикро и нанодисперсной мартенситной структуры, содержащей бориды железа, формирующие эвтектику пластинчатого типа (в однократном слое – Fe_2B , а в двойном – FeB). Выявлено наличие изгибных экстинкционных контуров, указывающих на формирование внутренних полей напряжений на границе раздела фаз бориды $\text{Fe}-\alpha\text{Fe}$.

Ключевые слова: наноструктура, фазовый состав, микротвердость, электродуговая наплавка, эвтектика.

***A. N. Gostevskaya, V. E. Kormyshev, E. V. Kapralov, V. E. Gromov,
Yu. F. Ivanov***

STRUCTURAL-PHASE STATES AND PROPERTIES OF SURFACING ON LOW-CARBON STEEL

The physical and material science has studied the structural-phase state, the distribution of microhardness over the cross-section of coatings. The increased mechanical properties of the deposited layer are due to the formation of the submicro and nanodispersed martensitic structure, keeping the iron borides forming a plate-type eutectic. The existence of flexural extinction loops indicating the formation of water objects at the interface between $\text{Fe}-\alpha\text{Fe}$ boride phases is revealed.

Keywords: steel, deformation, structure, dislocation substructure, evolution.

Зачастую детали различных машин работают в условиях изнашивания, коррозии при высоких температурах. Перспективной технологией, направленных на решение проблемы срока службы деталей, является электродуговая наплавка порошковой проволокой, которая

широко используется при ремонте деталей различных механизмов: сельскохозяйственной техники, городского и железнодорожного транспорта, технологического оборудования и т. д. [1]. Для выбора подходящего покрытия, нужно проведение исследований его свойств и структуры [2].

Материалом исследования является покрытие напыленное на сталь марки Hardox 450. Для исследования фазового состава стали и напыляемого покрытия выбраны метод просвечивающей дифракционной электронной микроскопии (метод тонких фольг) [3–4].

Механические свойства наплавленного металла и стали характеризовали величиной микротвердости (метод Виккерса, нагрузка на индентор 5 Н).

Сталь марки Hardox 450 предназначена для эксплуатации в условиях, в которых предъявляются особые требования к износостойкости. Высокая твердость стали достигается за счет специальной системы заковки листов, в результате которой металл приобретает мартенситную структуру.

Формирование наплавленного электродуговым методом слоя на поверхности стали сопровождается слабо контролируемым нагревом материала. Это приводит к протеканию процесса отпуска закаленного состояния. Отчетливо видно, что отпуск стали приводит к выделению частиц карбидной фазы (цементита), расположенных в объеме пластин и на их границах. Дефектная субструктура пластин мартенсита представлена дислокациями (рис. 1).

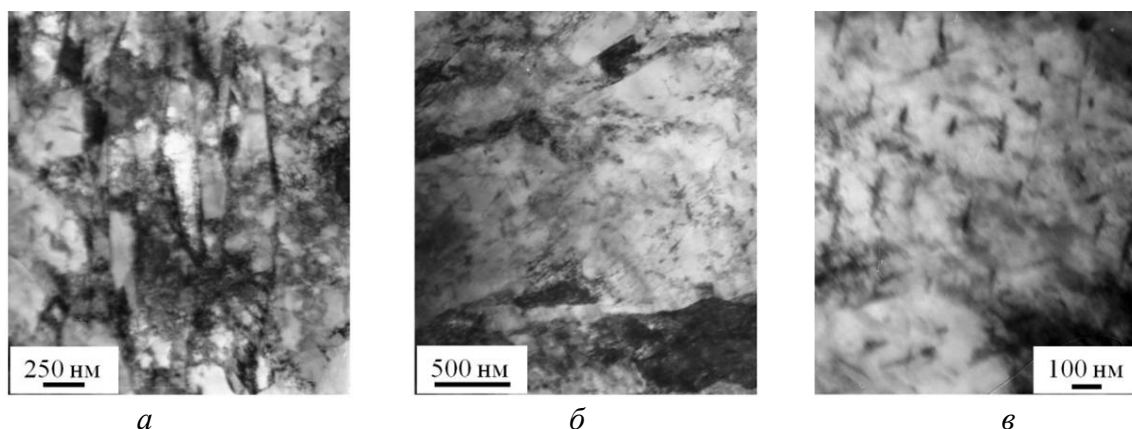


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение структуры стали Hardox 450, формирующийся в слое, расположенном на расстоянии 15 мм от поверхности наплавленного слоя

Так же при изучении наплавки на стальную основу (Hardox 450) было изучен контактный слой. Контактный слой металла – это слой находящийся на границе раздела наплавленного слоя и основного объема материала. Со стороны металла основы (сталь Hardox 450) выявляется поликристаллическая структура, в объеме зерен которой наблюдается

субструктура пластинчатого типа (рис. 2, *а*). Пластины сгруппированы в пакеты; поперечный размер таких пластин изменяются в пределах от 150 до 200 нм. Группирование пластин в пакеты, позволяют предположить мартенситный механизм их формирования.

В объеме и на границах пластин выявляются частицы второй фазы (рис. 2, *б*). Микродифракционный анализ показал рефлекс, принадлежащие, карбиду железа.

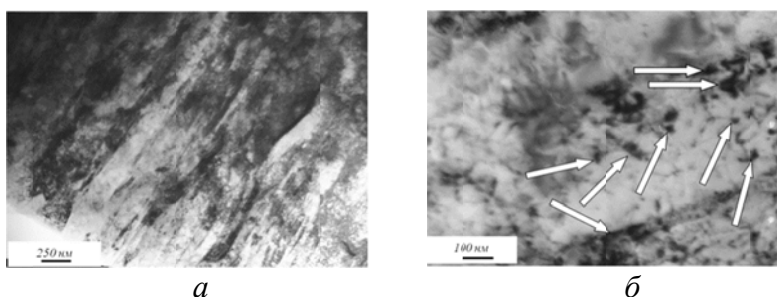


Рис. 2. Структура контактного слоя со стороны стали Hardox 450; стрелками указаны частицы второй фазы

Третьим изучаемым слоем, являлся напылённый слой. Одинарный или двойной наплавленные слои характеризуются подобным типом структуры. Выявлено формирование эвтектики пластинчатого типа.

Особенностью фазового состава наплавленного за один проход слоя является формирование в эвтектике пластин борида железа преимущественно состава Fe_2B ; в двойном наплавленном слое в эвтектике формируется преимущественно борид железа состава FeB .

Включения боридов железа, не зависимо от количества проходов при формировании наплавленного слоя, не содержат в своем объеме дислокационной субструктуры, что кардинально отличает их от прилегающих слоев α -фазы. Причиной отсутствия дислокационной субструктуры в пластинах боридов железа является их сравнительно высокая твердость. Твердость Fe_2B и FeB равна (12,5–16,8) ГПа и (18,9–23,4) ГПа, соответственно.

Разделяющая пластины боридов железа α -фаза, при однократном формировании наплавленного слоя представлена преимущественно мартенситом пакетной морфологии.

Таким образом, выполненные исследования структуры и фазового состава наплавленного слоя выявили формирование многофазного состояния, характеризующегося присутствием большого количества включений боридов железа.

В результатах изучения микротвердости материала при одинарном и двойном способе формирования наплавленного слоя, можно отметить сформированного прочного поверхностного слоя, микротвердость которого изменяется в пределах (10,5–12,5) ГПа в случаи одного подхода и

≈ 15 ГПа при двойном проходе. Следовательно, твердость наплавленного слоя при одном проходе более чем в 2 раза превышает твердость металла основы (сталь Хардокс-450) с толщиной наплавки 7 мм. При двойном проходе твердость наплавленного слоя в ≈ 3 раза превышает твердость основы при толщине модифицированного слоя не менее 10 мм.

Выполнены исследования фазового состава, дефектной субструктуры и механических свойств наплавленного на сталь Hardox 450 слоя, сформированного при одинарном и двойном проходе.

Так же показано, что высокие механические свойства наплавки связаны с формированием многофазной субмикро- и наноразмерной структуры, упрочнение которого происходит благодаря наличию боридов железа. Выявлено, что одинарном наплавленном слое бориды железа имеют состав Fe_2B , а при двойном наплавленном слое FeB .

Исследование выполнено за счет средств Гранта Российского научного фонда (проект №15-19-00065).

ЛИТЕРАТУРА

1. Структура и свойства композиционных износостойких наплавов на сталь / Е. В. Капралов [и др.]. Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2014. 109 с.
2. Громов В. Е. Успехи физики металлов. Т. 15. / В. Е. Громов, Е. В. Капралов, С. В. Райков и др. 2014. С. 211–232.
3. Утевский Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении / Л. М. Утевский. Москва : Металлургия, 1973. 584 с.
4. Томас Г. Просвечивающая электронная микроскопия материалов / Г. Томас, М. Дж. Гориндж. Москва : Наука, 1983. 320 с.